

## 레이저 스캐너를 이용한 측정시 오차감소에 관한 연구 A Study on reducing errors in scanning object using a laser scanner

홍성균\*, 김연술(전북대학교 대학원), 이희관(전북대학교 기술혁신센터)  
공영식(전북지방 중소기업청), 양균의(전북대학교 기계항공시스템공학부)

### Abstract

This study proposes a method to reduce error scanning data of laser scanner. The method consists of 3 stages. First, there is an error induced by the distance between the probe and the object. It is possible to reduce the error by planning a scanning strategy: object setting path. Second, the scan data loss of the tool affects calculating the tooling ball center. z-direction compensation is given to calculate accurate registration points. Third, three points are used to determine a transformation matrix on the frame. As merging, the maximum error usually occurs on the third tooling ball in the conventional method, which selects a point among three points randomly. We find the centroid of 3 points and apply it to determine a new transformation matrix.  
**Key Words** : Laser Scanner(레이저스캐너), Tooling Ball(툴링볼), Registration(레지스트레이션), Reverse engineering(전산역설계)

### 제 1 장 서론

전산 역설계란 실제 형상을 측정하여 공학적 개념이나 형상 모델을 추출하는 것을 말한다. 전산 역설계에서 현재 레이저스캐너의 활용분야는 레이저 기술의 발달과 더불어 정밀도가 향상되어 시작품 개발 뿐 아니라 임펠러, 금형 등 정밀한 제품에도 적용되고 있다. 특히 제품의 검사는 매우 정밀한 측정을 요하기 때문에 지금까지 접촉식 측정기가 많이 사용되었다. 그러나 접촉식 측정기는 정밀한 반면 측정 속도가 느리기 때문에 현재 접촉식 측정기와 비접촉 측정기의 장점만을 이용하는 통합시스템 개발에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>(1~3)</sup> 그러나 이 방법은 두 장비를 모두 보유하고 있어야 가능하고, 최종적으로 하나의

좌표계에 존재하는 데이터를 얻기 위해서는 두 장비의 좌표계의 레지스트레이션 과정이 필요하다.

본 연구에서는 비접촉식 측정기만을 사용하여 역설계 및 검사에 적용할 수 있도록 측정시 발생하는 오차의 원인을 분석하고 이 오차를 줄이는 방법에 대해 연구하였다.

### 제 2 장 비접촉 측정기의 원리

광학식 측정법은 크게 점, 선 그리고 면적 측정방식 등으로 분류할 수 있다. 점 측정방식은 광삼각법 또는 자동초점(auto-focusing)기능을 응용한 1차원 변위센서를 3차원 좌표측정기와 같은 기계적인 구동시스템에 장착하여 3차원 형상을 측정하는 방식이고, 선 측정방식은 슬릿광 형상측정법과 같이 한 단면씩 측정하여 형상을 재현하는 방식이며, 면적 측정방식은 모아레측정법(moire topography)이나 스테레오비전과 같이 한번에 형상재현을 하는 방식이다.

본 연구에서 사용한 방식은 슬릿광 형상측정법으로 빠른 측정속도와 비교적 높은 정밀도를 얻을 수 있으면서 자동화가 용이한 장점이 있다. 사용된 장비는 LDI사의 3차원 레이저 스캐너로써 Surveyor DS-4060 System 이다. 사용된 프로브는 RPS-450으로 광원은 파장이 670nm인 다이오드레이저(diode laser)를 사용하였다. 한번 진행시 측정 영역(Laser stripe length)은 4이고, Standoff distance는 86mm~200mm이고, Depth field는 110mm으로 측정정밀도는 0.0254mm이다.

슬릿빔을 이용한 측정은 Fig. 1과 같이 하나의 슬릿광원과 두 대의 카메라 그리고 프로브를 직선 방향으로 이송하기 위한 구동테이블로 구성된다.

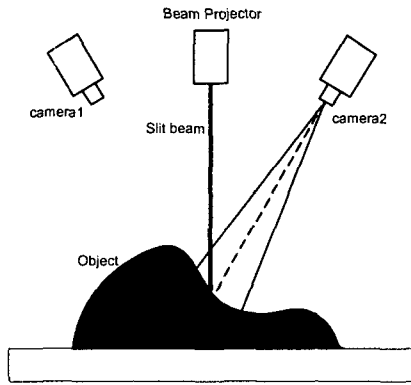


Fig. 1 Configuration of the laser measurement system

다음 Fig. 2는 세부 측정원리를 보여준다.<sup>4)</sup> 슬릿빔이 물체에 투영되는 선중의 한 점을 P라 하면 이 점은 카메라의 영상면 Q에 맺힌다. 두 점을 연결한 선을 영상선이라 하고 영상선의 방정식은 단위벡터  $\vec{v}$ 와 Q로 표현할 수 있다. 단위 벡터는 카메라보정을 통해 얻을 수 있고, 슬릿빔은 3차원으로 보면 하나의 평면의 방정식으로 표현된다. 따라서 영상선과 평면의 교차점을 계산하면 3차원 좌표(P)가 구해진다.

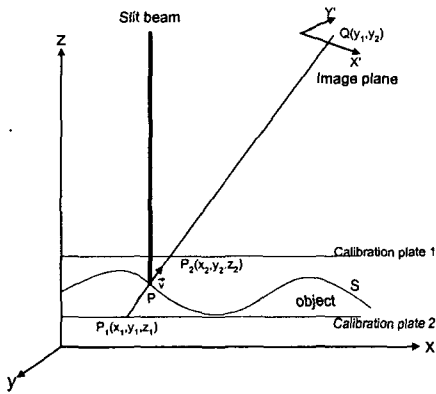


Fig. 2 Measuring principle

공간상 좌표를 살펴보면 x와 y좌표의 경우 레이저 프로브가 위치했을 때의 장비 축 좌표값으로부터 결정되어 비교적 정확하다. 그러나 z좌표값의 경우는 장비 축 위치 좌표값과 더불어 CCD카메라에서 얻어진 값으로부터 프로브와 물체간의 거리가 계산되어 결정되어지므로 x와 y좌표값에 비해 정밀도가 상대적으로 불안정

하다.

또한, 레이저 스캐너로부터 얻어진 데이터는 많은 양의 점들을 포함하고 있으며 레이저 광원의 산란, 혹은 측정물의 표면 정도에 의해 발생하는 노이즈도 포함하고 있다. 따라서 spike, smoothing, filtering 등의 전처리 작업이 필요하다.

### 제 3 장 측정시 발생하는 오차

비 접촉식 측정시 발생하는 오차는 다음과 같다. 첫째, 측정시 획득되는 자체 오차 즉 측정시 프로브와 파트의 거리에 따른 오차이다 둘째, 툴링볼의 중심을 구할때 발생하는 오차이다. 셋째, 레지스트레이션시 발생하는 오차이다. 그밖에도 빛에 의한 측정은 주위의 온도 습도 등에 따라서 측정 오차가 달라지고, 측정기 자체의 오차, 작업자의 실수 등 많은 요인들이 있지만 본 논문에서는 주요한 세가지 요인에 대해서 논한다.

#### 3. 1 프로브와 파트사이의 거리에 따른 오차

Fig. 3에서와 같이 카메라의 시야 각도에 따라서 측정 영역이 결정되는데 카메라 렌즈의 초점길이는 정해져 있으므로 z축 높이에 따른 측정 분해능이 달라져서 z축 높이에 따라 오차가 발생한다.

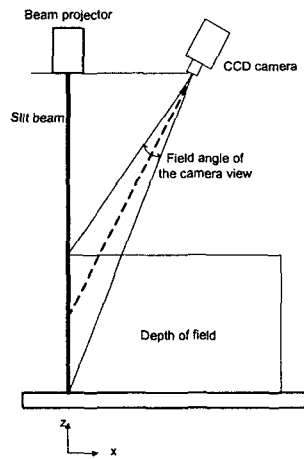


Fig. 3 Depth of field

이처럼 측정시 z축의 높이에 따른 오차를 분석하기 위해 Fig. 4와같이 긴 평판을 제작하고 평판의 기울기를 다르게 하여 측정하였다.

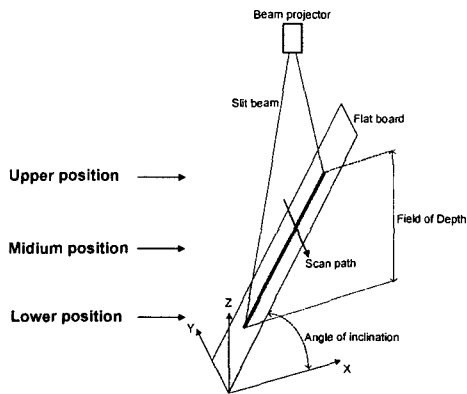


Fig. 4 Measuring with various inclination

측정된 각 데이터를 평면맞춤(Plane fitting)을 다음 Cloud데이터와 생성된 평면의 오차를 분석하였다. 오차를 직관적으로 보기 위해 Fig. 5와같이 에러맵(error map)을 통해서 데이터 오차의 경향을 분석하였다.

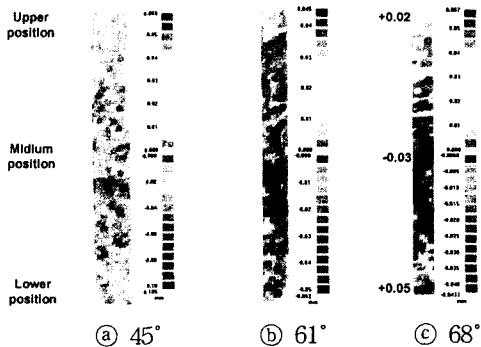


Fig. 5 Analysis using error map

①, ②에서는 (+)오차와 (-)오차가 평판 전체에 골고루 분포하기 때문에 Cloud와 평면의 오차가 적지만 ③에서는 윗부분에서 (+)오차, 중간부에서는 (-)오차, 그리고 밑부분에서는 다시 (+)오차가 발생한다. 이것은 획득된 Cloud데이터에 오차가 발생함을 의미한다. 즉 낮은 각도에서는 데이터의 오차의 발생이 적지만 68° (z축 측정 범위 : 92.5mm)를 넘어가면 오차가 증가함을 알 수 있다. 본 논문에서 사용된 프로브는 RPS-450으로 z축으로 측정 범위가 110mm이지만 92.5mm의 범위를 넘으면 오차가 커짐을 알 수 있다.

### 3. 2 측정계획

프로브와 파트의 거리에 따른 오차는 파트의 셋팅 및 측정 방향을 통해서 해결할 수 있다. 먼저 파트의 셋팅시에는 측정시 기울기가 커지지 않게 하고, 만약 측정시 기울기가 커지는 곳이 발생하게 되면 Fig. 6과같이 스캔경로를 결정하여 오차를 줄일 수 있다.

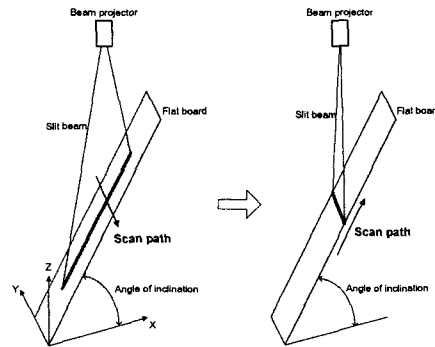


Fig. 6 Determine scan path

## 제 4 장 레이스트레이션

### 4. 1 툴링볼의 중심위치 오차 발생 및 보정

레이저에 의한 측정에서는 노이즈가 발생하여 정확한 툴링볼의 중심위치를 구하기 힘들고 측정시 툴링볼 데이터의 손실이 발생하면 툴링볼 중심위치에 영향을 미친다.

툴링볼을 이용한 측정시 먼저 고려할 사항은 몇개의 툴링볼을 사용하여 몇번의 측정을 할 것인가를 먼저 결정한다. 이 때 최소의 툴링볼의 갯수로 최소의 측정회수를 구하는 것이 좋다.<sup>(5)</sup> 이렇게 최소의 툴링볼의 갯수로 최소의 측정회수로 측정할때, 파트를 셋업하는 방향에 따라서 툴링볼 측정시 전체의 일부분만 보이는 경우가 발생하고, 또 파트에 툴링볼을 부착하는 부분은 더 이상 구 형상을 갖지 않기 때문에 데이터의 손실이 발생한다.

데이터 손실로 인한 툴링볼 중심위치의 오차를 분석하기 위해 Fig 7.과 같이 툴링볼을 측정하고 트림(trim) 위치를 다르게 했을때 각각 툴링볼의 중심 위치를 계산하였다. 툴링볼의 중심 위치는 LSM(Least Square Method)을 이용하여 구를 생성(sphere fitting)하여 생성된 구의 중심점을 구하였다. 사용된 툴링볼의 반경은 12.7mm이다.

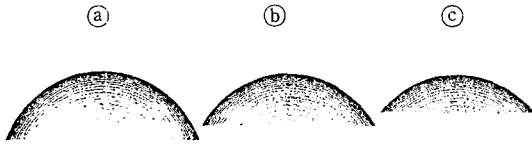


Fig. 7 Trimmed scan data of tooling ball

Table. 1 Center positions of the trimmed

unit : mm	(a)	(b)	(c)
radius	12.7019	12.7139	12.7272
x value	-593.0812	-593.0803	-593.0786
y value	1149.6671	1149.6657	1149.6618
z value	-457.7791	-457.7936	-457.8087

Table. 2 Difference of errors

Note : (a) is reference

unit : mm	(a)-(a)	(b)-(b)	(c)-(c)
Difference of radius	0	0.0120	0.0253
Difference of x value	0	0.0008	0.0025
Difference of y value	0	0.0013	0.0052
Difference of z value	0	0.0140	0.0296

Table. 1은 트림 위치를 다르게 하였을 때 계산되는 구의 반지름과 구의 중심위치를 보여준다. (a)는 데이터 손실이 적으므로 반지름의 오차는 0.0019로 근사한 툴링볼의 중심좌표를 구할 수 있다. Table. 2는 (a)를 기준으로하여 (b), (c)의 오차의 변화량을 보여준다. 여기서 트림위치에 따라서 툴링볼 중심의 x, y좌표값의 변화는 적지만 z좌표값은 10~25 $\mu$ m 정도임을 알 수 있다. 이 수치는 무시하기에는 큰 수치이므로 보정이 필요하다. 결과적으로 반지름 오차는 z좌표값의 변화량에 국한된다. 따라서 생성되는 툴링볼의 반지름 값의 오차만큼 z축으로 보정하면 데이터의 손실로 인한 오차를 감소시킬 수 있다.

#### 4. 2 레지스트레이션시 발생하는 오차

툴링볼을 이용한 레지스트레이션시 변환 행렬은 세 점을 기준으로 한다. 툴링볼의 각 중심점을 연결하면 삼각형으로 표현된다. 기존의 방

법은 Fig. 8과같이 각 프레임의 첫번째 툴링볼의 중심을 원점으로 일치시키고 두번째 툴링볼의 중심을 x축에 일치시키고 세번째 툴링볼의 중심을 xy평면에 일치시킨다. 그런 다음 두 프레임을 머지(merge)시키면 레지스트레이션이 완료된다. 그런데 여기서 발생하는 문제점은 Fig. 8에서 알 수 있듯이 레지스트레이션 후 각 부분에서 툴링볼의 중심위치의 오차를 분석해 보면 첫 번째 볼에서는 항상 0이나 두번째 볼에서는 x축 방향으로 오차가 발생하고 세번째 볼에서는 xy평면으로 오차가 발생한다. 그래서 최대오차는 두번째 볼에서 발생하기도 하지만 일반적으로 세번째 볼에서 발생한다. 그리고 매칭시 첫번째 툴링볼을 어떤 것으로 선택하느냐에 따라 세가지로 나뉘지고 또 두번째 볼을 어떤것으로 하느냐에 따라 달라지기 때문에 방법은 총 6가지 방법으로 나누어질 수 있다. 그리고 각 방법에 따라 발생하는 오차도 달라진다. 그 이유는 각 삼각형의 변의 길이(툴링볼간의 거리)와 그에 따른 각의 크기가 다르기 때문이다. 또 임펄러와 같이 여러 방향에서 여러 번 측정해야 하는 경우에는 세번째 볼에서 오차가 누적되어 최대 오차는 더욱 증가하게 된다. 툴링볼간의 오차가 증가하면 이에 따라 파트의 오차도 증가한다. 그렇기 때문에 툴링볼간의 중심 오차를 감소시켜 주는 방법이 필요하다.

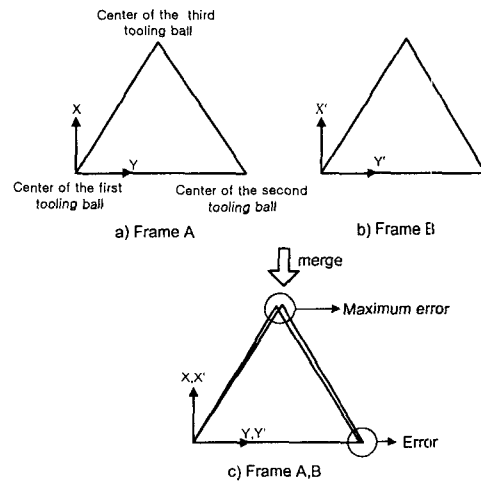


Fig. 8 Errors in merging scan data

앞에서 발생한 문제점을 보완하기 위해서 레

지스트레이션시 기준점을 변경하여 최적의 레지스트레이션 방법을 제시하였다. 서로 다른 두개의 삼각형을 포괄 때 교집합이 최대가 되는 조건을 적용하였다. 두 삼각형의 교집합이 최대가 되기 위해서는 두 삼각형의 무게중심을 구해서 일치시키고 두 삼각형의 가장 긴 변에 수선을 내려 일치시키면 된다. 이를 적용하여 Fig. 9와 같이 무게중심을 중심으로 레지스트레이션 한다.

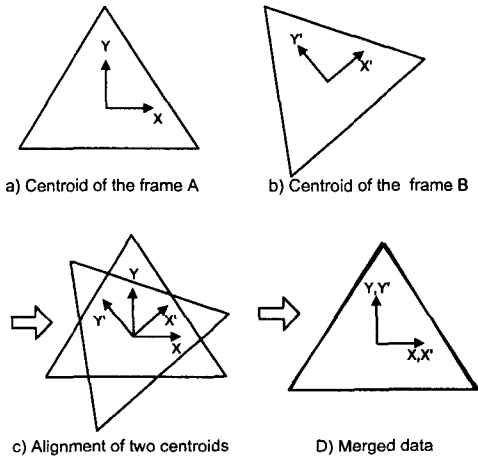


Fig. 9 New Registration method

두 방법에서 최초에 매칭시키는 기준점의 오차를 비교해 보면 기존의 방법에서는 각각의 첫 번째 볼의 중심을 일치시킬때 오차는 0이지만 각각 툴링볼 중심위치마다 오차를 포함하고 있으므로 이상적인 툴링볼의 중심은 일치하지 않는다. 즉 매칭시 첫번째 볼부터 오차가 발생한다.

무게중심을 매칭시킬때의 오차는 툴링볼 오차에 따른 무게중심의 오차에 의해 결정된다. 여기서 툴링볼의 오차가 이상적인 툴링볼 중심에서 어느 방향으로 향하더라도 무게중심의 오차 범위는 툴링볼의 오차 범위를 벗어나지 않는다. 예를 들어 세개의 툴링볼의 중심위치 오차가  $10\mu\text{m}$ 라면 무게중심의 오차의 범위도  $10\mu\text{m}$ 를 벗어나지 않는다. 이것은 삼각형의 무게중심을 일치시킬 때의 오차는 기존의 방법에서 첫번째 툴링볼의 원점을 일치시킬 때의 오차보다 크지 않다는 것을 의미한다.

Fig 10은 오차 감소를 고려한 역설계및 검사의 전체적인 프로세스를 보여주고 있다.

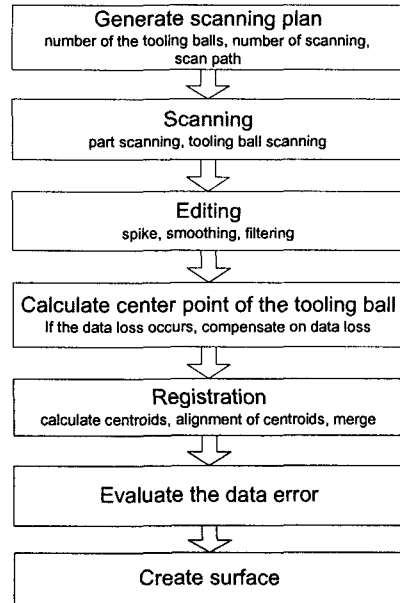


Fig. 10 Flow chart

### 제 5 장 적용사례

Fig. 11은 권선금형의 케비티로 프로브와 파트의 거리에 따른 오차를 줄이기 위해서 다음과 같이 스캔 경로로 측정을 하였다.

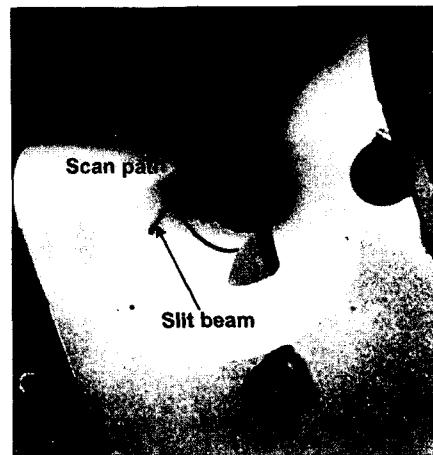


Fig. 11 Optimized scan path

Fig. 12는 무게중심을 중심으로 레지스트레이션을 한 데이터를 보여준다.

## 제 6 장 결론

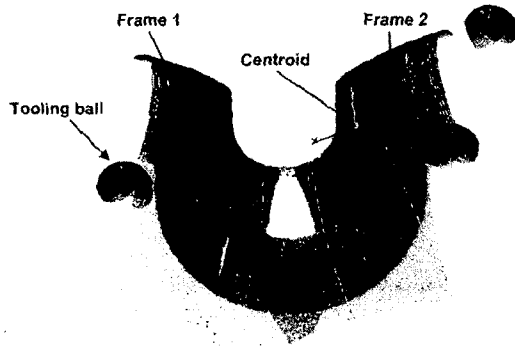


Fig. 12 Example of new Registration meth

Table. 3은 기존의 방법과 z값을 보정할 때와 기준점을 무게중심으로 했을 때의 각각의 툴링볼간의 오차를 보여준다.

Table. 3 Errors of the Registration methods

Unit : mm	A	B	C
Error of first tooling ball	0	0	0.0157
Error of second tooling ball	0.0343	0.0202	0.0047
Error of third tooling ball	0.0285	0.0268	0.0112
Sum	0.0628	0.0470	0.0316

Note : A - Conventional method  
 B - Registration after compensation of tooling ball center  
 C - New Registration method

Table. 3에서 알 수 있듯이 기존의 방법을 사용할 경우 두번째 볼 부분에서 최대오차는 0.0343이고 오차의 총 합은 0.0628이었다. 그리고 z값을 보정한 후에 기존의 방법으로 레지스트레이션 할 경우에는 최대오차가 0.0268로 줄었고 또 총 합도 0.047로 줄었다. 그리고 다시 z값을 보정한 후에 무게중심을 기준으로 레지스트레이션 할 경우 최대오차는 첫번째 볼에서 0.0157로 줄었고 오차의 총합도 0.0316으로 줄어들었음을 알 수 있다. 결과적으로 볼 중심들간의 오차의 총 합을 줄일 수 있었고, 파트의 오차가 두번째 및 세번째 볼 부분으로 편중되는 것을 방지하여 최대오차를 줄일 수 있었다.

레이저 스캐너에 의한 측정시 오차가 발생하는 원인을 분석하고 그 개선방법을 제시하였다. 첫째, 프로브와 파트의 거리에 따른 오차이다. 이 경우, 스캔 경로를 결정하여 오차를 줄일 수 있었다. 둘째, 툴링볼의 중심위치를 구할때 데이터의 손실이 발생하면 그 손실로 인해 툴링볼의 중심위치에 오차가 발생한다. 이 발생하는 오차를 z방향으로 보정하여 오차를 줄일 수 있었다. 셋째, 기존의 레지스트레이션 방법은 오차를 최소화 하는 매칭순서가 정립되어있지 않았고, 레지스트레이션시 두번째 볼이나 세번째 볼에서 최대 오차가 발생하였으나 무게중심을 중심으로한 레지스트레이션 방법을 통해 최적의 매칭 방법을 제시하여 전체 툴링볼들간의 오차를 줄이고, 툴링볼간의 최대오차를 줄였다.

## 참고문헌

- (1) Shen, J. Huang, and C. Menq, "Multi-sensor integration for rapid and high-precision coordinate metrology," Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 9-15, 1999.
- (2) M. Nashman, W. Rippey, T. H. Hong, and M. Herman, "An integrated vision touch-probe system for dimensional inspection tasks," report, 1995.
- (3) 손석배, 이관행, 박현풍, "통합측정시스템 구축을 위한 기반 연구," 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집, pp.436~439, 1999.
- (4) 박현구, 김명철, 김승우, "슬릿광 3차원 형상 측정에서 측정분해능 최적화를 위한 시스템 설계 및 카메라보정," 대한기계학회논문집 제18권 제5호, pp.1182~1191, 1994
- (5) 이용환, 윤정호, 이관행, "툴링볼을 이용한 측정 및 레지스트레이션 방법 개발," 한국 CAD/CAM학회 논문집 제4권 제1호 1999년 3월 pp.60~68.